

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Modelamiento de áreas potenciales de distribución de Queñua
(*Polylepis Incarum*) en la subcuenca Lampa, Puno-Perú**

Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico de
Bachiller en Ingeniería Ambiental

Autor:

Lisseth Jazmin Huayhua Mamani

Asesor:

MSc. Bernardino Tapia Aguilar

Juliaca, diciembre de 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

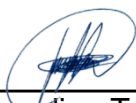
MSc. Bernardino Tapia Aguilar, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“MODELAMIENTO DE ÁREAS POTENCIALES DE DISTRIBUCIÓN DE QUEÑUA (*POLYLEPIS INCARUM*) EN LA SUBCUENCA LAMPA, PUNO-PERÚ”** constituye la memoria que presenta la estudiante Lisseth Jazmin Huayhua Mamani para obtener el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 22 días del mes de diciembre del año 2020.



MSc. Bernardino Tapia Aguilar

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 22 día(s) del mes de diciembre del año 2020 siendo las 9:50 horas

se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) Dr. Jael Lalla Lalla

presidente(a): Msc. Rose Adeline Gallata Lhuza

secretario(a): Ing. Verónica Haydee Pari Mamani y los demás miembros:

Msc. Jael Lalla Lalla

y el(la) asesor(a) Msc. Bernardino Espino Aguilar

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de

investigación titulado: Modelamiento de áreas potenciales de distribución de Quenúa (Polylepis Incarum) en la subcuenca Lampa, Puno - Perú

de los (las) egresados (as): a) Lisseth Tazmin Huayhua Mamani

b)

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en

Ingeniería Ambiental

(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando a la candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por la candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Lisseth Tazmin Huayhua Mamani

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Buena</u>	<u>Muy Buena</u>

Candidato/a (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó a la candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a

Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Candidato/a (a)

Candidato/a (b)

Modelamiento de áreas potenciales de distribución de Queñua (*Polylepis Incarum*) en la subcuenca Lampa, Puno-Perú

Lisbeth Jazmin Huayhua Mamani ^{a*}, Bernardino Tapia Aguilar ^a

^aEP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

Resumen

Los bosques de queñuales (*Polylepis Incarum*), se encuentran ubicados en el altiplano sur del Perú, la especie es considerada endémica, vulnerable y de conservación cultural. El objetivo fue identificar las áreas idóneas de distribución espacial potencial de los bosques de queñuales para su conservación, a través de modelos de distribución de especies usando los softwares QGis versión 3.10.5 y Maxent versión 3.4.1. Para el modelamiento se consideró datos de entrada como: 1) puntos de presencia de la especie y 2) variables bioclimáticas, los que fueron procesados con las herramientas RStudio y QGis, y corridos en el software Maxent, identificando las áreas de distribución potencial, el porcentaje de contribución de las variables bioclimáticas y el valor de confiabilidad del modelo de la especie de estudio. El modelo obtenido presentó áreas de presencia en los distritos (Lampa, Palca, Vilavila y Cabanilla) y ausencia en el distrito de Juliaca; el porcentaje mayor de contribución fue de 32.6% correspondiente al BIO2 y el valor de confiabilidad del área bajo la curva (AUC) medio es de 0.979 con clasificación excelente. Las áreas potenciales de distribución del *Polylepis Incarum* obtenidos por Maxent muestran las zonas idóneas de desarrollo de la especie en la subcuenca Lampa, perteneciente a la cuenca Coata de la región de Puno.

Palabras clave: modelo de distribución de especie, variables bioclimáticas, *Polylepis Incarum*

Abstract

The queñual forests (*Polylepis Incarum*), are located in the southern highlands of Peru, the species is considered endemic, vulnerable and cultural conservation. The objective was to identify the ideal areas of potential spatial distribution of queñual forests for their conservation, through species distribution models using QGis software version 3.10.5 and Maxent software version 3.4.1. For the modeling, input data was considered as: 1) points of presence of the species and 2) bioclimatic variables, which were processed with the RStudio and QGis tools, and run in the Maxent software, identifying the potential distribution areas, the percentage of contribution of bioclimatic variables and the reliability value of the model of the species of study. The obtained model presented areas of presence in the districts (Lampa, Palca, Vilavila and Cabanilla) and absence in the district of Juliaca; the highest percentage of contribution was 32.6% corresponding to BIO2 and the reliability value of the area under the curve (AUC) average is 0.979 with excellent classification. The potential areas of distribution of *Polylepis Incarum* obtained by Maxent show the ideal zones for the development of the species in the Lampa sub-basin, belonging to the Coata basin in the region of Puno.

Keywords: species distribution model, bioclimatic variables, *Polylepis Incarum*

1. Introducción

La diversidad geográfica y climática del Perú da lugar a las ocho grandes regiones naturales del país, las cuales albergan una extraordinaria variedad de flora y fauna con una cantidad de 20 mil especies registradas, encontrándose la mayor parte en la selva amazónica del Perú, sin embargo, existe una minoría perteneciente

* Autor de correspondencia: Lisbeth Jazmin Huayhua Mamani
Km. 7 Carretera salida Arequipa, Chullunquiani, Juliaca
Tel.: 931326435
E-mail: lisbeth.huayhua@upeu.edu.pe

al altiplano peruano (Hurtado et al., 2018). El cambio significativo del clima amenaza la flora y fauna, existente en la tierra desde el siglo anterior y continuará con una variación de temperatura según el informe del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (De & Quinto, 2013), estimando un incremento de temperatura de 1.4 a 5.8°C para el periodo de 1990 a 2100 (Mejía, 2013).

Los efectos de la variación de temperatura podrían alterar drásticamente los patrones conocidos de la biota de la tierra, como los rangos en la composición de las comunidades, desplazamientos altitudinales y latitudinales de comunidades vegetales, distribución de especies y cambios de la funcionalidad de ecosistemas (Mejía, 2013; Behroozian et al., 2020; Marcora et al., 2008; Quispe Reymundo & Révolo Acevedo, 2020).

Según Lamina et al., (2010) la queñua pertenece a la familia rosaceae la cual está constituida por alrededor de 100 géneros y 3000 especies, y está dividida en 4 subfamilias y 15 tribus. La especie de interés pertenece a la tribu sanguisorbeae la cual presenta 14 géneros de interés biogeográfico al estar distribuidos en la mayoría de los continentes, y encontrándose la mayor diversificación en el hemisferio sur del continente, donde los géneros *Polylepis*, *Tetraglochin*, *Margyricarpus* y *Acaena* representan a Sudamérica (Lamina et al., 2010).

El gran interés ecológico, sistemático y biogeográfico del género *Polylepis* se debe al sistema biológico único que presenta, además de una distribución restringida en los andes (Koepcke, 1961). Diversos autores mencionan el registro de especies encontradas en el Perú haciendo referencia a un número estimado de especies como Bitter (1991), Marchbride (1983) y Herrera (1943) quienes reportaron 12 especies, por otra parte, Simpson (1979) y Bravo & Zarucchi (1993) reportaron 10 especies.

Se puede asegurar que nuestro Perú es uno de los países con mayor diversidad de especies del género *Polylepis* en comparación con Bolivia que cuenta con 13 especies, Ecuador con 7 especies, Argentina con 4 especies, Colombia con 3 especies, Chile con 2 especies, Venezuela con una y Perú cuenta con la presencia de 19 especies (Mendoza & Cano, 2011; Renison et al., 2013).

Según el informe de la International Union for Conservation of Nature's (IUCN) la especie de *Polylepis* *besseri* ssp. *Incarum* es considerada como una especie vulnerable (vu) (IUCN, 2015; Resources, 2015) y estuvo categorizado como una especie en peligro crítico de extinción en la república de Bolivia.

El género *Polylepis Incarum* es una especie arbórea que se desarrolla en las zonas altoandinas a altitudes aproximadas entre 3100 a 4200 msnm (Segovia-Salcedo et al., 2018), cuenta con una cobertura vegetal de 35 – 40% (Hurtado et al., 2018). Los bosques de género *Polylepis* de las zonas Altoandinas constituyen uno de los ecosistemas más vulnerables de sudamérica (Aucca & Ferro, 2014), teniendo una gran importancia en la conservación de la biodiversidad (albergar un microclima) y funciones hidrobiológicas (regular y almacenar agua) los cuales se ven amenazados por el cambio climático (Segovia-Salcedo et al., 2018), siendo los ecosistemas andinos los más vulnerables por la presión antropogénica como: la tala ilegal, ganadería e incendios forestales (Zutta & Rundel, 2017; Castro & Flores, 2015).

Mendoza & Cano (2011) mencionan en su estudio que las especies encontradas en el departamento de Puno son *Polylepis incana*, *Polylepis incarum*, *Polylepis pepeii*, *Polylepis triacontrandra* siendo uno de los 19 departamentos con presencia de este género. Algunas son consideradas como especies endémicas (Castillo, 2020), y dentro del departamento de Puno se encuentra el *Polylepis Incarum*, especie de estudio del presente artículo (Politis et al., 2019; Mendoza & Cano, 2011). Donde el endemismo de la especie hace restrictivo las áreas de distribución potencial de la misma, siendo las variables bioclimáticas las que influyen de manera directa en su desarrollo (Quipuscoa Silvestre, 2019).

Los bosques de género queñuales se localizan en laderas rocosas, quebradas y a lo largo de riachuelos, con pendientes topográficas entre 40 a 60 % (Enfermer et al., 2018), a una altura de 3100 a 4200 m.s.n.m. (Mendoza & Cano, 2011), estos bosques del género *Polylepis* se encuentran ubicados en la formación geológica Oyón la cual está comprendida por areniscas y lutitas intercalas con un contenido medio de potasio en 23.5% las cuales influyen en el crecimiento de los *Polylepis* (Rodríguez, 2018).

Las formaciones fisiográficas en las que se encuentra los bosques de género *Polylepis* son cerros con afloramientos rocosos, valles glaciares o en forma de U y cerros con acantilados (Goleman et al., 2019). Los cerros con afloramiento rocoso son los únicos lugares donde se pueden encontrar árboles del género *Polylepis*

como es el caso del cerro Pucarani del distrito de Palca. Los valles glaciares albergan las especies en las laderas del valle como el valle de Pumahuasi del distrito de Palca-Lampa. Los cerros acantilados cuentan con pendientes que albergan abundante pedregosidad donde se desarrollan los bosques de queñua (Goleman et al., 2019).

La presencia de esta especie constituye un importante hábitat para la flora y fauna de las zonas altoandinas como lo demuestra la investigación realizada por (Montesinos-Tubée et al., 2015) en Lampa departamento de Puno, en el cual se estimó la presencia de 83 especies vasculares pertenecientes a 35 familias, siendo las más representativas las *Asteraceae*, *Poaceae*, *Caryophyllaceae*, *Faceae* y *Pteridaceae* (Inaigem, 2015).

Considerando la investigación realizada por Mejía Danilo, Tonón María, Abad Lerena (2018); el trabajo nos da a conocer la probabilidad de presencia de la especie a través del modelamiento las ocurrencias, que consideran las condiciones climáticas y morfológicas que necesita la especie para desarrollarse (Mejía, 2013), así mismo el trabajo de investigación de Timaná de la Flor & Cuentas Romero, (2015) nos dan a conocer el modelamiento de distribución de dos especies vegetales, *Pycnophyllum spathulatum* (*Caryophyllaceae*) y *Prosopis pallida* (*Fabaceae*) aplicando Maxent, haciendo uso de datos climáticos disponibles en WorldClim (Timaná de la Flor & Cuentas Romero, 2015). También Cruz-Cárdenas et al., (2014) realizaron un modelamiento de distribución de *Podocnemis lewyana* en Bogotá- Colombia en el año 2013 determinando la posible distribución de la especie, identificando las localidades de su presencia a través de salidas a campo, además prediciendo la distribución de esta especie, que la consideró como variable principal la temperatura (Cruz-Cárdenas et al., 2014).

Los modelos de distribución de especies son representaciones espaciales de distribución de correlación de puntos de presencia y variables climáticas ambientales (Plasencia-Vázquez et al., 2014), las cuales determinan condiciones favorables para la especie de estudio en una determinada área geográfica (Soberón et al., 2017; Savino et al., 2014). Por consiguiente para realizar modelos de distribución de especies conocido como (MDE o SDM, por sus siglas en inglés), es necesario el uso de un software de modelamiento como Maxent (Máxima Entropía) la cual es una herramienta con diversas ventajas como: primero utiliza datos de presencia; segundo permite generar mapas de idoneidad de habitat; y finalmente cuantifica el valor de importancia de cada variable (Charre-Medellín Charre-Medellín, J.F., Mas, J.F. & Chang-Martinez, L.A. 2019).

El presente estudio tuvo como objetivo identificar las áreas idóneas potenciales de distribución del *Polylepis Incarum* con respecto a las variables bioclimáticas en la subcuenca Lampa a través de modelamientos de distribución de especies con el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Así mismo, se utilizó RStudio para la discriminación de puntos de presencia y herramientas de modelamiento como el QGIS y Maxent los cuales nos ayudaron en el geoprocesamiento de datos bioclimáticos y los puntos de presencia de las especies.

2. Materiales y Métodos

La información recolectada de los puntos de presencia se tomó a través de Global Biodiversity Information Facility (GBIF), que es una base de datos de acceso libre (<https://www.gbif.org/>), en el cual muestra a través de coordenadas geográficas los lugares donde se encuentra la especie de interés, se consideró también los puntos de presencia creadas a través de una capa shapefile. Las variables bioclimáticas actuales fueron obtenidas a través de la base de datos del WorldClim (<https://www.worldclim.org/>), en la versión 1.4, con una resolución de 30 segundos que es aproximadamente un kilómetro cuadrado.

Para el modelamiento de la distribución potencial de especies se utilizó herramientas de modelamiento, dentro de ellas encontramos los softwares QGIS (<https://www.qgis.org/es/site/index.html>) versión 3.16, MaxEnt (https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/) versión 3.4.1. y R (<https://www.r-project.org/>) versión 4.0.3. y R Studio (<https://rstudio.com/>).

2.1. Área de estudio

El área de estudio en el cual se realizó el modelamiento es la subcuenca Lampa la cual tiene una superficie aproximada de 1633.0245 km², y comprende los distritos de Lampa, Vilavila, Palca, Cabanilla y Juliaca, además pertenece a la cuenca Coata del departamento de Puno ubicada entre 3900 a 4200 msnm.

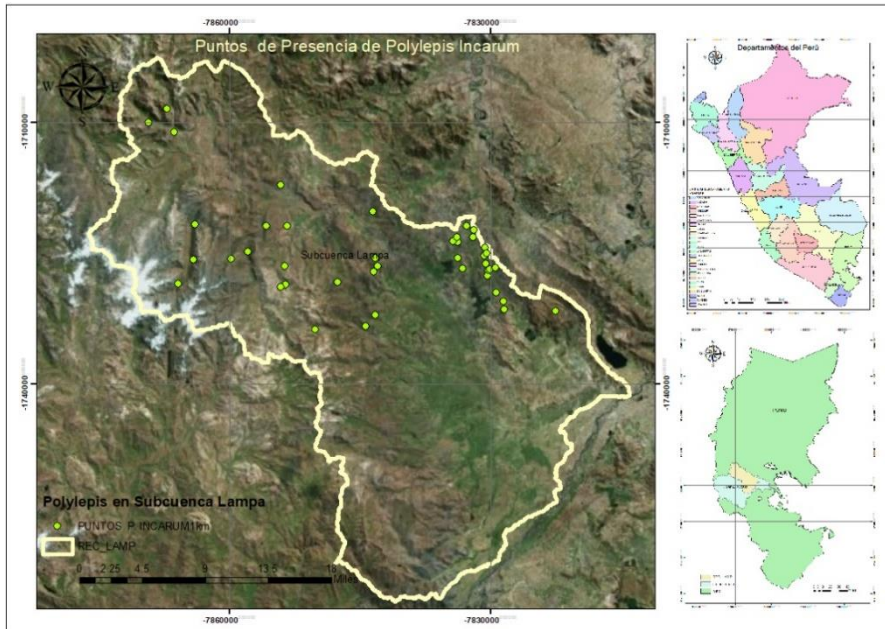


Figura 1. Puntos de presencia del *Polylepis Incarum* en la subcuenca Lampa

2.2. Datos de presencia de las especies

La base de datos de presencia de especies comprenden gran cantidad de especies de todo el mundo, los cuales se encuentran en coordenadas geográficas y son expresadas en el Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC), WGS84 (Luis Manuel Muñoz-Reja Mora, 2018).

La descarga de puntos de presencia del GBIF (<https://www.gbif.org/species/5598360>) se realizó, insertando el nombre científico de la especie de interés “*Polylepis Incarum*”, el cual mostró los puntos de presencia en el sur del Perú y parte de Bolivia, (Domic et al., 2017).

El procesamiento de los puntos de presencia obtenidos de la base de datos, se realizó a través la discriminación de puntos falsos, duplicados y áreas incorrectas; este proceso se realizó con RStudio, para representar los puntos de presencia de la especie.

Para el proceso de datos de los puntos de presencia de la especie, se traspasó en una hoja de cálculo de Excel las coordenadas (longitud, latitud) del *Polylepis Incarum*, dicha información despues se guardó en formato csv delimitado por comas, formato que es reconocido por el software Maxent que posteriormente fue utilizado para el modelamiento de las áreas potenciales de distribución del *Polylepis Incarum* en la subcuenca Lampa.

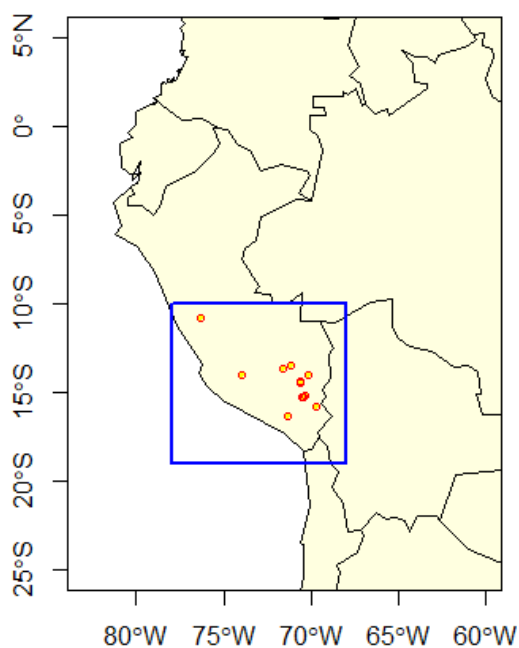


Figura 2. Puntos de presencia del *Polylepis Incarum* en el Altiplano Sur del Perú

Los puntos rojos de la figura 2 nos muestran los lugares donde se encuentra la especie de estudio, información que fue procesada por el software RStudio, mostrando la ubicación de los puntos en el altiplano sur de Perú.

2.3. Variables Bioclimáticas

Las variables bioclimáticas empleadas en el estudio se obtuvieron de la base de datos WorldClim (<https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>), datos que se encuentran en archivos Geotiff, los que han sido convertidos al formato ráster para su uso cartográfico y creación de modelos espaciales, además vienen dados en SRC WGS84, versión 1.4 con una resolución de 30 segundos, aproximadamente 1km² (Fick & Hijmans, 2017).

El proceso de la información se basa en la conversión de formato ráster a ASCII, el cual es reconocido por el software Maxent, pero se debe considerar antes de la conversión de formato el recorte correspondiente para el área de estudio.

Tabla 1*Código y Descripción de las variables bioclimáticas.*

ID	Descripción de variable
BIO1	Temperatura media anual
BIO2	Rango diurno medio (media mensual (T° máx - T° mín))
BIO3	Isotermalidad (BIO2 / BIO7) ($\times 100$)
BIO4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar $\times 100$)
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)
BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo
BIO9	Temperatura media del cuarto más seco
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO11	Temperatura media del cuarto más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del mes más húmedo
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del cuarto más húmedo
BIO17	Precipitación del cuarto más seco
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido
BIO19	Precipitación del cuarto más frío

Fuente: Fick & Hijmans (2017)

3. Resultados y Discusión

Para el uso de variables se realizó una correlación de las 19 variables bioclimáticas considerando aquellos valores menores de 0.8 (Luis Manuel Muñoz-Reja Mora, 2018; Mejía, 2013; Vadillo, 2017), que se obtuvieron a través de un scrib procesado en R Studio; además los valores se evaluaron con Excel y Maxent, Los cuales posteriormente se recortaron por capa de mascara con el límite de área de estudio y se convirtió de formato ráster a ascii, para el procesamiento de datos en las herramientas MaxEnt.

Tabla 2*Variables bioclimáticas seleccionadas*

Variable	Porcentaje de Contribución	Importancia de la permutación
BIO8	43.1	0
BIO2	32.6	11.3
BIO3	11.8	23.3
BIO14	6.2	51.6
BIO18	3.8	2.3
BIO4	2.5	11.5
BIO5	0	0

Los valores mostrados en la tabla 2 son promedios de las diez replicas realizadas en Maxent, las cuales se realizaron a traves del proceso de la estimación con el algoritmo del programa.

Los valores considerados para la fiabilidad de acuerdo con la sugerencia de (Correia, 2019) considera la valoración recomendada por (Araujo, Pearson, Thuiller, & Erhard, 2005; Elith et al., 2011; Merow et al., 2013; Phillips et al., 2017), la clasificación de los modelos en función del Área Bajo la Curva ó Area Under the Curve (AUC) lo clasifican como: Insuficiente (0.5 - 0.6), Pobre (0.6 - 0.7), Promedio (0.7 - 0.8), Bueno (0.8 - 0.9) y Excelente (0.9 - 1), (Luis Manuel Muñoz-Reja Mora, 2018).

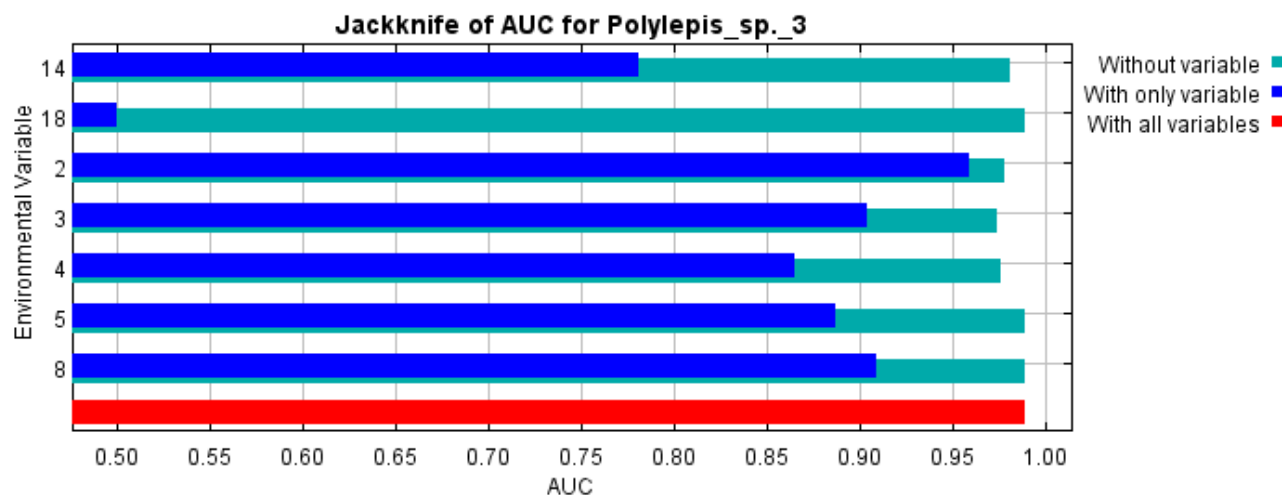


Figura 3. Prueba de importancia de valores del AUC

El resultado obtenido a través del procesamiento de los datos de puntos de presencia y las variables bioclimáticas con el software Maxent, nos mostró como valor medio de AUC 0.979 al realizar las 10 réplicas, cuyo valor se clasifica como excelente. Considerando que la desviación estándar es de 0.028 se puede mencionar que los resultados obtenidos son fiables debido al rango de error mínimo que presenta.

Los valores mostrados en la tabla 4 son promedios de las diez replicas realizadas en Maxent, las cuales se realizaron a traves del proceso de la estimación con el algoritmo del programa. Las variables bioclimaticas seleccionadas muestran en los resultados de jackknife la ganancia en aislamiento, ademas mostró que el BIO2 tiene una relación de influencia mayor en las áreas de distribución del *Polylepis Incarum*.

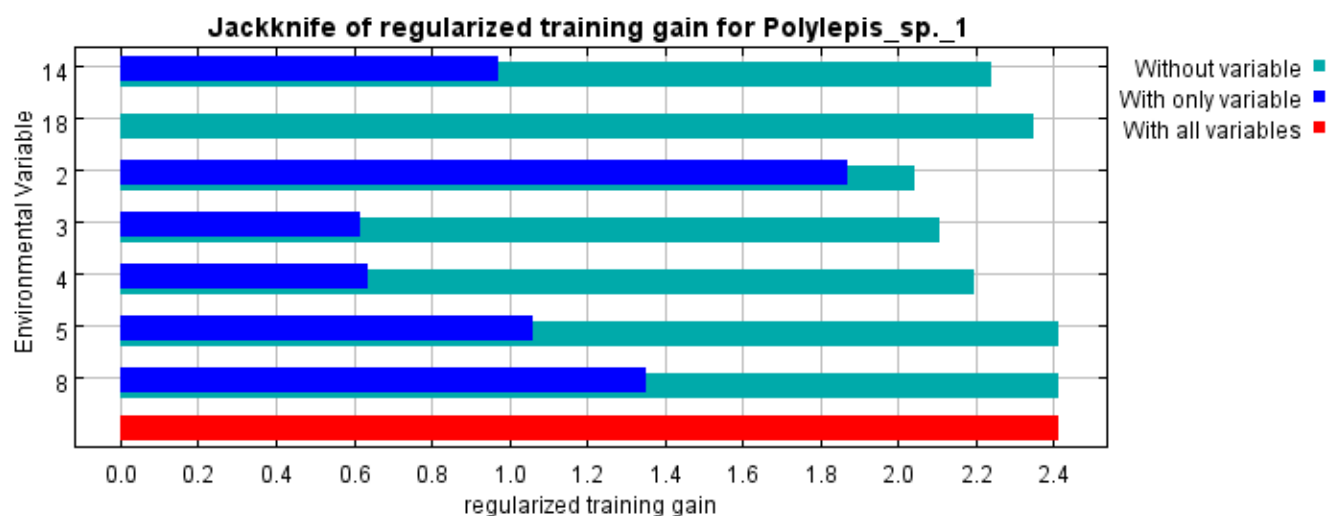


Figura 4. Tabla de Jackknife

Área de presencia y ausencia de la especie

Los modelos para la identificación de las áreas de distribución del *Polylepis Incarum* entrenados con las variables bioclimáticas seleccionadas, obtuvieron en promedio un AUC de 0.979, que indican bajos niveles de error, dando como resultado los siguientes modelos de distribución del *Polylepis Incarum*.

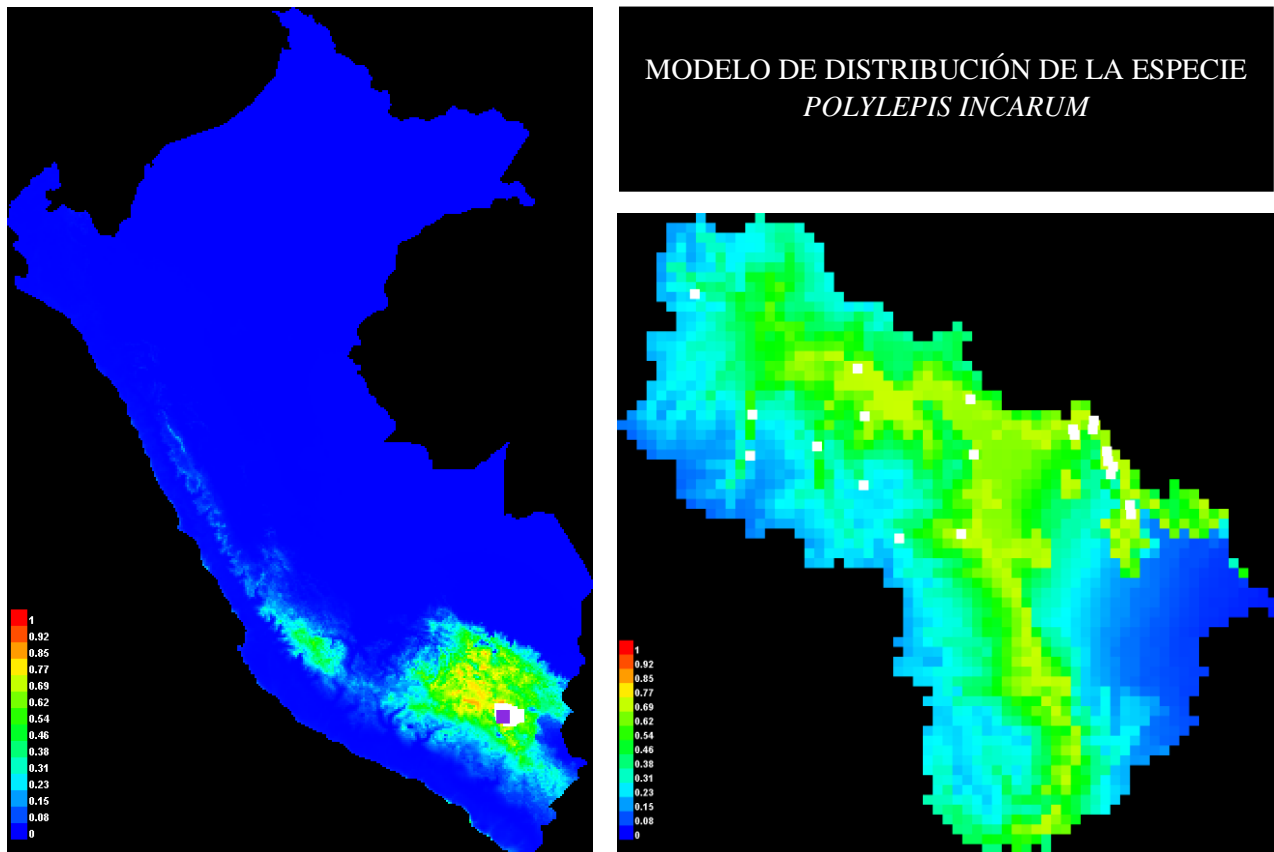


Figura 5. Modelo de distribución potencial del *Polylepis Incarum* MaxEnt.

Las áreas potenciales de distribución del *Polylepis Incarum* obtenidos por Maxent muestran las zonas idóneas de desarrollo de la especie en la subcuenca Lampa, perteneciente a la cuenca Coata de la región de Puno. Donde la corroboración de la fiabilidad del modelo se realizó a través de la identificación de las localidades donde ha sido reportada la especie, a través de la salida de campo, se muestra como áreas de presencia en los distritos de Lampa, Palca, Vilavila y Cabanilla (Aucca & Ferro, 2014; Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011) también a áreas de ausencia como Juliaca (salida a Lampa), siguiendo la metodología aplicada por (Ortiz-Yusty et al., 2014; Fick & Hijmans, 2017)

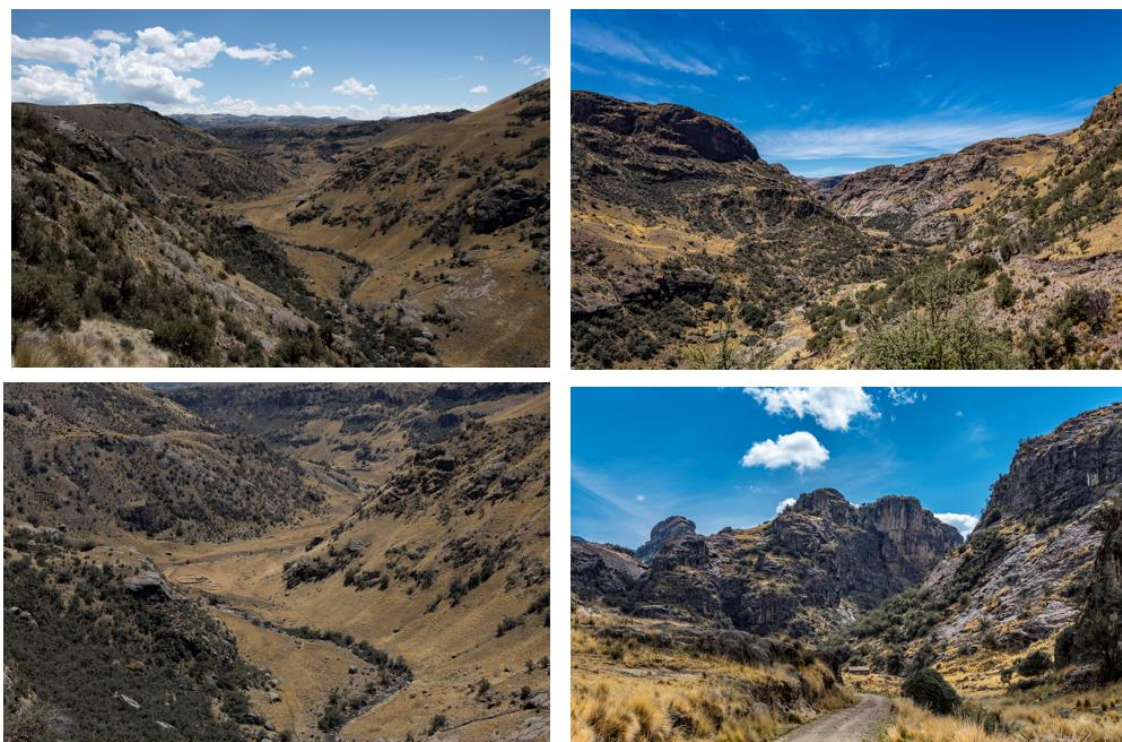


Figura 6. Bosques Queñuales (*Polylepis Incarum*) en la sub cuenca Lampa

En la figura 6 se aprecia los bosques del género *Polylepis Incarum* de los distritos de Palca y Cabanilla (superior e inferior izquierda), Lampa (Inferior derecha) y Vilavila (superior derecha) pertenecientes a la subcuenca Lampa de la región Puno. En la figura 7 se aprecia la especie de estudio considerando la ubicación geográfica en la que se encuentra.



Figura 7. Identificación de áreas de presencia y ausencia del *Polylepis Incarum* a través de la salida a campo.

4. Conclusiones

Se logró la identificación de las áreas y estas pertenecen a los distritos de Lampa, Palca, Vilavila y Cabanilla en el departamento de Puno, como idóneas potenciales para la presencia de quenua, utilizando los modelos de distribución potencial espacial, obtenidos mediante el software Maxent

Además, los porcentajes de contribución de las variables bioclimáticas mostraron al BIO2 “rango diurno medio” como la variable con más influencia en la especie con un valor de 32.6% de contribución, seguido por el BIO3 “isotermalidad” con un valor de 11.8% y al BIO 14 “precipitación del mes más seco” con un porcentaje de contribución de 6.2%. El AUC medio de las 10 réplicas mostraron un valor de 0.979, con una desviación estándar de 0.028, este último muestra el rango de error mínimo del modelo obtenido por el software Maxent con relación a las variables bioclimáticas para la distribución del *Polylepis Incarum*.

Recomendaciones

Se recomienda profundizar el estudio de las áreas potenciales de distribución del *Polylepis Incarum* añadiendo más variables como geología, pendiente topográfica, uso de suelo, entre otros, los cuales ayudaran en la obtención de resultados con mayor fiabilidad. Sin embargo, se debe considerar las variables bioclimáticas en los MDE por la influencia directa en el desarrollo de las especies endémicas.

Referencias

- Aucca, C., & Ferro, G. (2014). Ecología , Distribución , Monitoreo y Estado de Conservación de los. *Asociacion Ecosistemas Andinos, Diciembre*, 23.
- Behroozian, M., Ejtehadi, H., Townsend Peterson, A., Memariani, F., & Mesdaghi, M. (2020). Climate change influences on the potential distribution of *Dianthus polylepis* Bien. ex Boiss. (Caryophyllaceae), an endemic species in the Irano-Turanian region. *PLoS ONE*, 15(8 August), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237527>
- Castillo, D. (2020). *Evaluation of the Capacity of Polylepis Forest to Provide Cultural Ecosystem Services and Income for its Conservation Measures in the Framework of Chimborazo Natural Reserve's Landscape*.
- Castro, A., & Flores, M. (2015). CHARACTERIZATION OF A QUEÑUAL (*Polylepis* spp.) FOREST AT HUASTA DISTRICT, BOLOGNESI PROVINCE (ANCASH, PERU). *Ecología Aplicada*, 14(1), 1–9. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v14n1/a01v14n1.pdf>
- Charre-Medellín, J. F., Mas, J. F., & Chang-Martínez, L. A. (n.d.). *REVISTA UD Y LA GEOMÁTICA*. <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/UDGeo/index>
- Cruz-Cárdenas, G., Villaseñor, J. L., López-Mata, L., Martínez-Meyer, E., & Ortiz, E. (2014). Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en Maxent. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 20(2), 187–201. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.09.034>
- De, G., & Quinto, I. (2013). *Cambio Climático 2013 Bases físicas*.
- Domic, A., Palabral Aguilera, A., Gómez, M., Hurtado U., R., Ortuño, N., & Liberman, M. (2017). “*Polylepis incarum*” (Rosaceae) una especie En Peligro Crítico en Bolivia: Propuesta de reclasificación en base al área de ocupación y estructura poblacional. *Ecología En Bolivia: Revista Del Instituto de Ecología*, 52(2), 116–131.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43–57. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- Enfermer, E. P. D. E., Asociados, F., Automedicaci, L. A., & Enfermer, E. N. E. D. E. (2018). *Universidad nacional del altiplano de puno. 051*, 363543.

- Goleman et al., 2019. (2019). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Hurtado, R., Palabral-Aguilera, A. N., Domic, A. I., Gómez, M. I., & Liberman, M. (2018). Estudios etnobotánicos y florísticos de los bosques amenazados de *Polylepis incarum* y *Polylepis pacensis* (Rosaceae) en Bolivia. *Bonplandia*, 27(2), 113. <https://doi.org/10.30972/bon.2723534>
- Inaigem, C. (n.d.). *MONTAÑA Polylepis Forests as Genetic Banks for the Ecological Restoration of Mountain Ecosystems*. 111–115.
- Koeppcke, M. (1961). 10vitates. *New York*, 2, 1–10.
- Lamina, Q., Salcedo, S., Jadán, M., & Proaño, K. (2010). Estandarización de la metodología para el conteo cromosómico en especies del género *Polylepis* en el Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, 31(1–2), 33–49. <https://doi.org/10.26807/remcb.v31i1-2.41>
- Luis Manuel Muñoz-Reja Mora. (2018). *Elaboración de un modelo predictivo de distribución potencial del cultivo chenopodium quinoa willd. Basado en necesidades edafoclimáticas con objeto de determinar las zonas de correcta adaptación en Extremadura*. 53.
- Marcora, P., Hensen, I., Renison, D., Seltmann, P., & Wesche, K. (2008). The performance of *Polylepis australis* trees along their entire altitudinal range: Implications of climate change for their conservation. *Diversity and Distributions*, 14(4), 630–636. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00455.x>
- Mejía, D. (2013). Distribución Potencial del Género *Polylepis* dentro de la Cuenca del Río Paute en un Escenario de Cambio Climático. *Universidad Del Azuay*, 1–54. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Mendoza, W., & Cano, A. (2011). Diversidad del género *Polylepis* (Rosaceae, Sanguisorbeae) en los Andes peruanos. *Revista Peruana de Biología*, 18(2), 197–200. <https://doi.org/10.15381/rpb.v18i2.228>
- Merow, C., Smith, M. J., & Silander, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: What it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36(10), 1058–1069. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>
- Montesinos-Tubée, D. B., Pinto, Á. C., Beltrán, D. F., & Galiano, W. (2015). Vegetación de un bosque de *Polylepis incarum* (Rosaceae) en el distrito de Lampa, Puno, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 22(1), 87–96. <https://doi.org/10.15381/rpb.v22i1.11125>
- Ortiz-Yusty, C., Restrepo, A., & Páez, V. P. (2014). Potential Distribution of *Podocnemis lewyana* (Reptilia:Podocnemididae) and Its Possible Fluctuation Under Different Global Climate Change Scenarios. *Acta Biológica Colombiana*, 19(3), 471. <https://doi.org/10.15446/abc.v19n3.40909>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography*, 40(7), 887–893. <https://doi.org/10.1111/ecog.03049>
- Plasencia-Vázquez, A. H., Escalona-Segura, G., & Esparza-Olguín, L. G. (2014). Modelación de la distribución geográfica potencial de dos especies de psitácidos neotropicales utilizando variables climáticas y topográficas. *Acta Zoológica Mexicana (N.S.)*, 30(3). <https://doi.org/10.21829/azm.2014.30372>
- Plissock, P., & Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: Una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2011(48), 61–79. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022011000100005>
- Politis, G., Domic, A., Bonomo, M., & Capriles, J. M. (2019). Modelamiento de los parámetros ambientales de la distribución de sitios goya-malabrigo mediante maxent. *Instituto de Arqueología, Lingüística y Folklore "Dr. Pablo Cabrera"*, 13(May), 289–304.
- Quipuscoa Silvestre, V. (2019). Impacto de los cambios climáticos y uso de suelo, en la distribución de las especies de géneros endémicos de Asteraceae de Arequipa. *Arnaldoa*, 26(1), 71–96. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.261.26105>
- Quispe Reymundo, B. J., & Révolo Acevedo, R. H. (2020). Temperatura superficial y estado de la vegetación del bosque de *Polylepis* spp, distrito de San Marcos de Rocchac, Huancavelica – Perú. *Enfoque UTE*, 11(3), 69–86. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v11n3.592>
- Renison, D., Cuyckens, G. A. E., Pacheco, S., Guzmán, G. F., Ricardo Grau, H., Marcora, P., Robledo, G., Cingolani, A. M., Dominguez, J., Landi, M., Bellis, L., & Hensen, I. (2013). Distribución y estado de conservación de las poblaciones de árboles y arbustos del género *Polylepis* (Rosaceae) en las montañas de Argentina. *Ecologia Austral*, 23(1), 27–36. <https://doi.org/10.25260/ea.13.23.1.0.1189>
- Resources, N. (2015). *Polylepis besseri ssp. incarum*. 8235.
- Rodríguez, D. D. (2018). *Estructura y distribución espacial de Polylepis rugulosa Bitter "Queñua" en el*

- bosque de Huachuy (toro), Reserva paisajística Sub-cuenca del Cotahuasi, Arequipa, 2017.* 1–87. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6000/Biropidd.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Savino, C., Diodato, L., Gatto, M., & Zerda, H. (2014). Modelos de Distribución Potencial de Especies. *Instituto de Protección Vegetal, December 2015*, 1–8. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4962.6965>
- Segovia-Salcedo, M. C., Domic, A., Boza, T., & Kessler, M. (2018). Situación taxonómica de las especies del género *Polylepis*. Implicancias para los estudios ecológicos, la conservación y la restauración de sus bosques. *Ecología Austral*, 28(1bis), 188–201. <https://doi.org/10.25260/ea.18.28.1.1.527>
- Soberón, J., Osorio-Olvera, L., & Peterson, T. (2017). Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(2), 437–441. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.011>
- Timaná de la Flor, M., & Cuentas Romero, M. A. (2015). Biogeografía predictiva: técnicas de modelamiento de distribución de especies y su aplicación en el impacto del cambio climático. *Espacio y Desarrollo*, 27. <https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.201501.008>
- Vadillo, F. (2017). Modelamiento espacial aplicado al desarrollo del ecoturismo y la conservación de la avifauna en la vertiente occidental de Perú. *Pontificia Universidad Católica Del Perú*, 125. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/10021>
- Zutta, B. R., & Rundel, P. W. (2017). Modeled shifts in *Polylepis* species ranges in the Andes from the last glacial maximum to the present. *Forests*, 8(7), 1–16. <https://doi.org/10.3390/f8070232>